

AN: PAT 1985-270984  
TI: Auxiliary earthing system for electrical machine shaft has capacitance coupling to earth to suppress HF HV caused by rectifier commutation  
PN: DE3511755-A  
PD: 24.10.1985  
AB: The earthing circuit for oscillatory steep fronted shaft voltages is connected to the normally insulated end of the machine shaft. A low rubbing velocity sliding contact assembly (29,8) is mounted at the shaft end. The stationary components (8) is electrically connected (27) to a capacitor (9) whose other terminal is connected to earth (5). The capacitance value is chosen to give low impedance to steep fronted waves but exhibit high impedance to the normal low frequency components of shaft voltage. The normal shaft earthing system (7,5) is retained, but it may be beneficial to fit a small inductance (21) in series to block high frequency current components. Use of the capacitor earthing system brings shaft voltages on rectifier excited machines down to the normal level of between 1 and 2 volts.; On turbo-generators or Kramer drives with rectifier excitation or control. Eliminates deterioration caused by HF discharges.  
PA: (BROV ) BBC BROWN BOVERI & CIE AG;  
IN: POSEDEL Z; ZIEGLER H G;  
FA: DE3511755-A 24.10.1985; CH663697-A 31.12.1987;  
CO: CH; DE;  
IC: H01R-039/02; H02K-005/16; H02K-011/00;  
MC: V04-L01B; X11-J04; X11-J07A;  
DC: V04; X11;  
PR: CH0001920 17.04.1984;  
FP: 24.10.1985  
UP: 31.12.1987

---



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 3511755 A1

51 Int. Cl. 4:  
H02K 5/16  
H 01 R 39/02

21 Aktenzeichen: P 35 11 755.9  
22 Anmeldetag: 30. 3. 85  
43 Offenlegungstag: 24. 10. 85

D6

DE 3511755 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
17.04.84 CH 1920/84-3

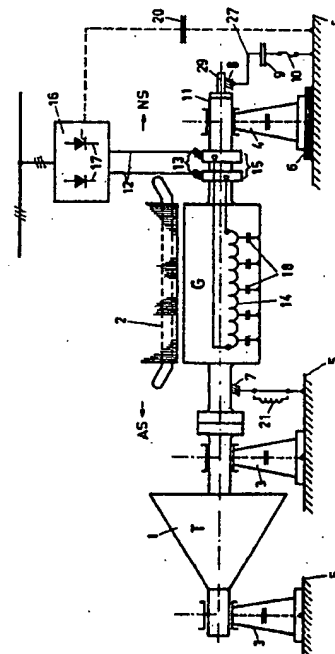
71 Anmelder:  
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden,  
Aargau, CH

74 Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 7891  
Küssaberg

72 Erfinder:  
Posedel, Zlatimir, Dipl.-El.-Ing., Neuenhof, CH;  
Ziegler, Herwin Gerhard, Nussbaumen, CH

54 Anordnung zum Ableiten von Wellenspannungen

Bei dynamoelektrischen Maschinen mit statischen Erregersystemen und statischen Kaskadenschaltungen bei Schleifringläufermotoren treten Wellenspannen mit steilen Spannungsspitzen und hochfrequenten Komponenten auf, die mit herkömmlichen Erdungsbürsten nicht sicher abgeleitet werden können. Durch Schaffung eines Strompfades auf der Wellenseite der dynamoelektrischen Maschine, auf der die Lager oder Lagertragstrukturen durch Isolierstrecken gegen Erde, Masse und Fundament galvanisch getrennt sind, bestehend aus einer entsprechend dimensionierten Kapazität und einem für den Abgriff kurzer steiler Stromimpulse von der Welle geeigneten Gleitkontakt, zwischen Welle (11) und Erde (5) bleibt einerseits die notwendige galvanische Trennung auf besagter Wellenseite erhalten, andererseits ist eine niedrige Ableitimpedanz für die Ströme gegeben, die durch besagte Spannungen verursacht werden, so daß die Restwellenspannungen auf einem niedrigen Niveau bleiben.



DE 3511755 A1

PATENTANSPRÜCHE

1. Anordnung zum Ableiten von Wellenspannungen mit steilen Spannungsspitzen und/oder hochfrequenter Spannungs-  
komponenten von Wellen dynamoelektrischer Maschinen,  
deren Rotorwicklungen aus mit Halbleiterventilen  
5 ausgerüsteten Systemen gespeist werden, dadurch  
gekennzeichnet, dass auf der Wellenseite (NS) der  
dynamoelektrischen Maschine, auf der die Lager (4)  
durch Isolierstrecken (6) gegen Erde, Masse und Funda-  
ment galvanisch getrennt sind, ein Strompfad, umfassend  
10 eine Kontaktvorrichtung (8) mit mindestens einem  
Gleitkontakt (22, 23; 29, 32) und einer dazu in Serie  
geschalteten Kapazität (9) zwischen der Welle (11)  
und Maschinenmasse bzw. Erde (5) vorgesehen ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
15 dass zur Kapazität (9) eine Induktivität (32) in  
Serie geschaltet ist, derart dass der so gebildete  
Saugkreis auf eine maschinenspezifische Frequenz  
abgestimmt ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-  
20 zeichnet, dass im Strompfad ein Sicherungselement  
(10), vorzugsweise eine träge Schmelzsicherung mit  
kleinem Ansprechstrom, eingeschaltet ist.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Kontaktvorrichtung aus einer  
25 oder mehreren metallisierten Carbonfiber-Bürsten  
(8), die mit einem Wellenzapfen (29) am nichtantriebs-  
seitigen Wellenende der Welle (11) zusammenarbeiten,  
besteht.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktvorrichtung einen im nichtantriebsseitigen Wellenende (11) angeordneten rotierenden Kontaktteil (22) und einen unter Einwirkung einer Feder (26) axial an den rotierenden Kontaktteil anpressbaren stationären Gegenkontakt (23) aufweist.  
5
6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die rotierenden Kontakte (22) an der Kontaktfläche mit einer Edelmetallplattierung versehen ist oder aus einer Kupfer/Silber-Legierung besteht.  
10
7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktfläche des rotierenden Kontaktes (22; 29) strukturiert ist und sich vorzugsweise aus einer Vielzahl voneinander getrennter Einzelflächen (31) zusammensetzt.  
15
8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelflächen durch Einschneiden eines ein- oder mehrgängigen Flachgewindes oder durch Kreuzrandrierung gebildet sind.  
20
9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die gesamte Kontaktvorrichtung als an die Maschine anbringbare Baueinheit ausgebildet ist.
- 25 10. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktvorrichtung durch eine Kapselung (28) gegenüber Umwelteinflüsse abgeschirmt ist.

3511755

3

39/84

17.4.84  
He/eh

- & -

#### Anordnung zum Ableiten von Wellenspannungen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zum Ableiten von Wellenspannungen gemäss dem Gattungsbegriff des Patentanspruchs 1.

Die an elektrischen Maschinen, insbesondere Turbogruppen, auftretenden Wellenspannungen sind eine potentielle Gefahr für zahlreiche Komponenten des Wellenstranges. Wenn sich unkontrollierte Stromkreise ausbilden, können die in diesen Pfaden liegenden Teile durch Stromeinwirkung und Funkenerosion geschädigt werden. Durch zwei allgemein bekannte Massnahmen konnten die Schadenfolgen der Wellenspannungen einwandfrei ausgeschaltet werden:

- Durch Einfügen von Isolierstrecken wurden Barrieren geschaffen, so dass die Wellen-Längsspannungen keine Schadströme über die gefährdeten Teile treiben können. In der Regel werden diese Isolierstrecken, insbesondere bei Turbogruppen, nur auf NS der elektrischen Maschine (Generator) ausgeführt. Eine konsequente Isolation

aller potentiell gefährdeten Teile einer Dampfturbine, bzw. jener von Arbeitsmaschinen bei Antrieb durch Motoren, wäre kaum durchführbar.

- 5 - Die Wellen-Querspannungen werden auf der nichtisolierten Wellenstrangseite durch Erdungsbürsten abgeleitet.

Eine neue Situation ergab sich mit dem Aufkommen und der immer weiteren Verbreitung von statischen Erregungssystemen bei Generatoren und statischen Kaskadenschaltungen bei Schleifringläufer-Motoren. Beim Kommutieren  
10 der Halbleiterventile treten sehr grosse  $dU/dt$ -Werte auf. Diese führen über verschiedene Koppelmechanismen zu kurzen, steilen Spannungsspitzen auf den Wellensträngen. Trotz der oben angeführten Massnahmen traten mit der Einführung dieser neuen Schaltungstechnologien vermehrt Schäden auf. Die Ursachen dafür sind:

- 15 - Die kurzen Stromimpulse, die von den Spannungsspitzen ausgelöst werden, beeinträchtigen in gravierender Weise den Kontakt der Erdungsbürsten. Ihre Funktion kommt in relativ kurzer Zeit zum Erliegen.
- 20 - Die steilen Spannungsspitzen führen schon bei niedrigen Spannungspegeln zu einem Durchbruch der Schmier- und Öelfilme.
- Die von den Spannungsspitzen ausgelösten Stromimpulse sind ein sehr effizienter Funkenerosions-Mechanismus.
- 25 - Die steilen Spannungsspitzen führen auch an den durch Isolierstrecken geschützten Komponenten zu kapazitiven Verschiebungsströmen die gross genug sind, um diese Teile durch Funkenerosion zu schädigen.

Umfangreiche Untersuchungen in Anlagen sowie Laborversuche zeigten, dass mit konventionellen Erdungsbürsten kurze, steile Stromimpulse nur bei ganz bestimmten Rahmenbedingungen betriebssicher abgeleitet werden können.

- 5 Diese Rahmenbedingungen sind bei den, in üblicher Weise zwischen Generator und Turbine angeordneten, Erdungsbürsten nicht gegeben und auch nicht realisierbar, weil die Konfiguration und die vorliegenden Gegebenheiten von anderen Anforderungen diktiert werden. Diese für
- 10 Bürsten recht ungünstigen Verhältnisse führen bei der erzwungenen Ableitung der Stromimpulse zu einer relativ rasch fortschreitenden Degradation des Gleitkontaktes, zu Störungen und zu einem Anstieg der Wellenspannung.

- 15 Der Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde, nicht die für die ohmsche Erdung nach wie vor notwendigen Erdungsbürsten zu eliminieren, sondern die durch die statischen Erregungssysteme eingekoppelten Spannungsspitzen soweit abzubauen, dass diese weder den Komponenten des Wellen-
- 20 stranges gefährlich werden können, noch die konventionellen Erdungsbürsten mit Stromimpulsen belasten, die zu einer Degradation ihres Kontaktverhaltens führen. Eine geeignete dimensionierte Kapazität zwischen Welle und Erde, welche keine "galvanische" (ohmsche) Verbindung
- 25 Welle-Erde schafft, kann somit auf dem isolierten nicht-antriebsseitigem Wellenende (NS) angeordnet werden, ohne für Gleichströme oder die niederfrequenten Komponenten der Längsspannung einen geschlossenen Stromkreis zu schaffen. Auf NS hat man ausserdem den grossen Vorteil,
- 30 dass für den kapazitiven Abgriff von der Welle in der Regel fast uneingeschränkt alle jene Rahmenbedingungen realisiert werden können, die für einen optimalen Gleitkontakt erforderlich sind.

Die Erfindung sowie deren physikalisch/technischer Hintergrund werden nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert.

In der Zeichnung zeigt:

- 5    Fig. 1    eine schematische Darstellung eines Rotors einer elektrischen Maschine (a) mit zugehörigem Längsspannungs-Diagramm (b),
- 10    Fig. 2    eine schematische Darstellung eines Rotors einer elektrischen Maschine (a) mit zugehörigem Querspannungs-Diagramm (b),
- 15    Fig. 3    eine schematische Darstellung einer Turbogruppe mit einer Anordnung zur Ableitung steilflankiger Spannungsspitzen und/oder hochfrequenter Wellenspannungen,
- 20    Fig. 4    ein erstes Ausführungsbeispiel einer axial wirkenden Kontaktvorrichtung am nichtantriebsseitigen Wellenende,
- 25    Fig. 5    ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Kontaktvorrichtung am nichtantriebsseitigen Wellenende mit einer strukturierten Lauffläche,
- Fig. 6    eine Weiterbildung der erfindungsgemässen Anordnung mit einem abgestimmten Saugkreis zwischen Welle und Erde.

An den Rotorkörpern und Wellen elektrischer Maschinen können, auch wenn diese nicht Bestandteil der aktiven elektrischen Kreise (Wicklung) sind, Spannungen auftreten. Diese Spannungen sind unter dem Namen Wellenspannungen bekannt. Es gibt eine ganze Reihe Effekte und Mechanismen,



die diese Wellenspannungen generieren und verursachen. Dementsprechend komplex ist auch ihr Erscheinungsbild. Von Gleichspannungen über Wechselspannungen mit Netz- und Drehzahlfrequenz sowie deren Oberwellen bis zu kurzen steilen Spannungsimpulsen reicht ihr Spektrum, ihr Pegel von wenigen mV bis zu einigen hundert, ja sogar 1000 V. Diese Spannungen lassen sich in zwei Gruppen einordnen: in die Längs- und Querspannungen.

Bei den Längsspannungen  $U_L$  liegt eine Spannungsquelle in der Welle vor (Fig. 1). Die Spannung  $U_L$  baut sich "längs" der Welle auf und kann zwischen zwei auseinanderliegenden Wellenpunkten A-B gemessen werden. Diese Längsspannungen haben in der Regel eine niedrige Quellimpedanz  $Z_L$  und sind gegenüber Erdpotential  $U_0$  im allgemeinen nicht definiert - sie "floaten". Schliesst sich der äussere Stromkreis über niederohmige Widerstände, dann können die durch die Längsspannungen ausgelösten Wellenströme sehr hohe Werte erreichen.

Bei den Querspannungen (Fig. 2) liegt die Spannungsquelle zwischen Welle und Erde, wobei diese Quellen meist eine hohe Quellenimpedanz  $Z_Q$  und relativ hohe Spannungspegel  $U_Q$  gegenüber Erdpotential  $V_0$  besitzen. Aus der Fig. 2 ist ersichtlich, dass hier die Spannung nicht zwischen zwei Punkten A-B der Welle, sondern zwischen Welle und Erde bzw. zwischen Welle und Masse, d.h. der äusseren, ruhenden Maschinenstruktur, auftritt.

Wellenspannungen stellen immer ein beträchtliches Gefahrenpotential für die Maschine oder den Wellenstrang dar, an dem sie auftreten. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich geschlossene Stromkreise ausbilden ist immer gegeben. Bevorzugte Stellen für den Stromübergang sind Lager, Dicht- und Abstreifringe, Zahnräder und andere mit der Welle in Kontakt stehende Komponenten. Dabei zeigt sich,

dass Öl- und Fettfilme nur eine sehr eingeschränkte Isolierwirkung besitzen. Spannungen um und unter 10 V genügen bereits um diese zu unterlaufen (Tunnel-Effekt) oder zu überbrücken und einen Strom auszulösen. Wellenströme, die sich über Lager, Zahnräder oder andere Wellenstrangkomponenten schliessen, führen praktisch immer zu einem erhöhten Verschleiss und zu gravierenden Schäden an diesen Teilen. Handelt es sich um grosse Motoren, Generatoren oder Turbogruppen, die von solchen Wellenstrom-Effekten betroffen werden, dann können schwerwiegende Betriebsunterbrüche die Folge sein und hohe Schadenkosten auflaufen. Bei grossen Einheiten ist ausserdem die Schadenwahrscheinlichkeit grösser als bei kleinen Einheiten, da mit der Einheitsgrösse die Pegel der Wellenspannungen und die allenfalls durch sie ausgelösten Ströme ansteigen.

Damit die Wellenspannungen keine Schäden anrichten sind geeignete Gegenmassnahmen unerlässlich. Eine Möglichkeit wäre ein Eingriff am Entstehungsort dieser Spannungen, nämlich bei den Generierungsmechanismen. Die Praxis zeigt jedoch, dass dies bei einer so grossen Zahl unterschiedlicher Entstehungsmechanismen nur schwer möglich ist, dass man einige dieser Mechanismen überhaupt nicht beeinflussen kann oder bei anderen der Aufwand sehr gross wäre. Bei der heute üblichen Praxis versucht man daher nicht die Primärursachen, sondern das Auftreten von Wellenströmen an den potentiell gefährdeten Teilen und Komponenten durch gezielte Isoliermassnahmen zu unterbinden bzw. die Wellenströme über vorgegebene Pfade abzuleiten.

So ist es üblich, Lager, Lagersegmente, Lagerböcke, Dichtoelringe an H<sub>2</sub>-gekühlten Turbogeneratoren, Zahnrädern und Ritzel für den Antrieb von Ölpumpen, Hilfseinrichtungen an Turbogruppen usw. durch eingefügte Isolierstrecken

so zu isolieren, dass ein Stromfluss über diese nicht auftreten kann. In der Regel werden bei grossen Motoren, bei Generatoren und bei Turbogruppen die Lager und übrigen Komponenten nur auf der Nichtantriebs-Seite (NS) isoliert. Eine Isolation aller potentiell gefährdeten Komponenten an den Antriebsmaschinen (Turbinen), oder Arbeitsmaschinen bei Motoren, die auf der Antriebs-Seite (AS) der vorliegenden elektrischen Maschine liegen, wäre vielfach mit einem sehr hohen Aufwand verbunden nur schwer oder überhaupt nicht durchführbar, oder aber der Hersteller der elektrischen Maschine hat gar keinen Einfluss auf die Ausführung der von einem anderen Hersteller ausgeführten Arbeitsmaschine. Mit der Isolation aller gefährdeten Teile auf der Nichtantriebsseite, z.B. eines Turbogenerators einer Turbogruppe, verhindert man das Auftreten von Wellen-Längsströmen, da zu deren Zustandekommen, wie Fig. 1 zeigt, mindestens 2 Stromübergangspunkte Welle-Masse erforderlich sind. Eine Isolation der gefährdeten Komponente auf einer Maschinenseite (NS) ist jedoch keine Präventivmassnahme für allfällige Wellen-Erdströme, die auf der Antriebsseite durch die Wellen-Querspannungen  $U_Q$  ausgelöst werden können. Um diesen entgegenzuwirken, ordnet man auf den antriebsseitigen Wellenpartien eine oder auch mehrere Erdungsbürsten an, die auf der Welle schleifen und mit Masse (Erde) verbunden sind. Der durch die Querspannungen ausgelöste Strom  $I_Q$  (Wellen-Erdstrom) fliesst so auf einem vorgegebenen Pfad gegen Erde, auf dem er keinen Schaden anrichten kann. Durch die in der Regel hohe Quellimpedanz  $Z_Q$  ist der Strom in seiner Grösse begrenzt. Er erreicht bei weitem nicht jene Grössenordnung, die die Wellen-Längsströme annehmen können, wenn sie einen entsprechend niederohmigen Strompfad vorfinden.

Wenn man annimmt, dass der Bürstengleitkontakt einwandfrei funktioniert, dann liegt das Potential des Wellen-

- stranges nur 0,5 - 1,5 V über Erd- bzw. Masse-Potential. Langjährige Erfahrungen haben gezeigt, dass solche Spannungspegel keine Gefahr für den Wellenstrang und seine Komponenten darstellen. Mit dieser Vorgehensweise ist man bis etwa in die 70er Jahre gut gefahren und ohne grosse Probleme durchgekommen. Etwa ab diesem Zeitpunkt begannen sich Schäden und Ausfälle an Maschinen zu mehren, die eindeutig Wellenströmen zuzuschreiben waren. Es zeigte sich, dass diese einerseits an Turbogruppen auftraten, bei denen der Generator über statische Erregungssysteme und nicht mehr über rotierende Erregerdynamos erregt wurde, andererseits an grossen drehzahlregelbaren Schleifringläufer-Asynchronmotoren deren schlupffrequenter Läuferstrom ebenfalls in statischen Wechselrichter-kaskaden weiterverarbeitet wurde. Bei diesen Maschinen finden sich in der Wellenspannung in regelmässiger Folge sehr steile und hohe Spannungsimpulse, die durch die Kommutierung der Halbleiterventile (Thyristoren, Dioden) in den vorliegenden Brückenschaltungen ausgelöst werden. Spannungs-Spitzenwerte etwa zwischen 40 und 200 V sind die Regel und in einem Fall wurden sogar 1000 V von Welle gegen Erde gemessen. Die bei der Kommutierung der Halbleiterventile auftretenden hohen  $dU/dt$ -Werte können über die Erd- und Wicklungskapazitäten auf den Wellenstrang, in Form steiler Spannungsimpulse, übertragen werden. Die Problematik dieser kommutierungsbedingten Wellenspannungsspitzen (voltage spikes) liegt in ihrem sehr charakteristischen Wirkungsspektrum:
- 30 - sie sind ein sehr wirksamer "Triggermechanismus" für den Durchschlag der Oelfilme,
  - sie sind hinsichtlich funkenerosivem Materialabtrag sehr effizient, d.h. sie haben ein grosses Schädigungspotential,

- sie beeinträchtigen das Kontaktverhalten der Erdungsbürsten in gravierender Weise.

5 Besonders gravierend wird der Kontakt der Erdungsbürsten bei Turbogruppen beeinträchtigt, bei denen die Spannungsspitzen drehzahlsynchron anfallen und bei denen schon an und für sich für die zwischen Generator und Turbine angeordneten Erdungsbürsten ungünstige Betriebsbedingungen vorliegen.

10 Diese ungünstigen Rahmenbedingungen sind vorgegeben und nicht in Richtung einer durchgreifenden Verbesserung modifizierbar. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei steilen, kurzen Spannungsimpulsen unter diesen Rahmenbedingungen eine befriedigende Wellenstrangerdung über längere Zeiten nicht realisierbar ist.

15 Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die üblichen, auf AS angeordneten, Erdungsbürsten von den hohen Spannungsspitzen zu entlasten und ganz generell diese Spitzen auf ein so niedriges Niveau abzusenken, dass sie, auch bei beeinträchtigter Funktion der AS-Erdungsbürsten, 20 weder als Triggermechanismus für einen Durchschlag der Öelfilme, noch als effiziente Funkenerosionsquelle am Wellenstrang wirksam werden können.

Die Analyse eines Wellenstrang-Netzwerkmodelles, in dem die diskreten und verteilten Kapazitäten und Induktivitäten nachgebildet wurden, zeigte, dass dies mit 25 einer zusätzlichen kapazitiven Erdung auf der isolierten Nichtantriebsseite der Maschinen möglich ist. Eine kapazitive Erdung benötigt jedoch ebenfalls einen Gleitkontakt, um den kapazitiven Strom von der Welle abzugreifen. 30 Das Kontaktproblem wird daher nur von AS nach NS verlagert. In konstruktiver Hinsicht hat man jedoch auf NS in der Regel in weit höherem Masse die Möglichkeit optimale

Rahmenbedingungen für den Gleitkontakt zu realisieren.

In den meisten Fällen kann an das freie, und nicht für die Uebertragung des Maschinendrehmomentes ausgelegte,

Wellenende ein Wellenstummel angeflanscht werden, der

- 5 in folgenden Punkten für die Uebertragung der Stromimpulse günstig ausgelegt werden kann:

- Wahl einer möglichst niedrigen Gleitgeschwindigkeit,

- Wahl eines günstigen Werkstoffes für den rotierenden Kontaktpartner,

- 10 - Wahl einer günstigen Bürstenqualität, die nicht von den hohen Umfangsgeschwindigkeiten diktiert wird,

- günstigere Ausführung der Oberflächentopographie (Gewinderillen usw.),

- 15 - Möglichkeit der Abschirmung des Gleitkontaktes gegen Öl- und Staubeinwirkung,

Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass bei günstiger Auslegung dieser Punkte die Wellenstromimpulse einwandfrei und betriebssicher abgeleitet werden können.

- 20 In Fig. 3 ist eine Turbogruppe mit einer Turbine 1 und einem Generator 2 dargestellt. Anstelle des Generators 2 ist jedoch auch eine andere elektrische Maschine z.B. ein Schleifringläufer-Asynchronmotor, und anstelle der Turbine 1 eine beliebige angetriebene Arbeitsmaschine denkbar. Mit 3 sind die AS gelegenen und gegenüber Erde 5 (Masse) nicht isolierten Lager des Wellenstranges bezeichnet, 4 ist das auf NS gelegene und über eine Lagerisolation 6 gegen Erde 5 isolierte Lager. Auf AS wird der Wellenstrang über eine Erdungsbürste 7 ohmisch geerdet. Die Rotorwicklung 14 wird über Schleifringe 15 und Stromabnahmebürsten 13 aus dem statischen, d.h. mit Halbleiter-
- 30

ventilen 17 (nur symbolisch dargestellt) ausgerüstetem Speisesystem 16, über Zuleitungen 12 angespeist. Bei der Kommutierung der Halbleiterventile 17 entstehen im Speisesystem 16 steile  $dU/dt$ -Flanken, die entweder durch kapazitive Koppelung, über Erdkapazitäten 20 des Speisesystems und verteilten Wicklungskapazitäten 18 der Rotorwicklung, die Wellenspannungsspitzen verursachen, oder aber rasche  $di/dt$ -Änderungen auslösen, die über induktive Koppelmechanismen ebenfalls zu diesen Wellenspannungen führen.

Erfindungsgemäss ist auf NS, bzw. jener Maschinenseite 11, auf der die Lager (Dichtringe usw.) über die Isolierstrecken 6 gegen Erde 5 isoliert sind, eine zusätzliche Erdung angeordnet, die aus einem Gleitkontakt, mit einem rotierenden Kontaktteil 29 und einem feststehenden Kontakt, z.B. Bürsten 8, einem geeignet dimensionierten Kondensator 9 und einer Schutzeinrichtung, z.B. Schmelzsicherung 10, besteht. Die Sicherung 10 hat die Aufgabe, bei einem Isolationsdefekt des Kondensators den Fluss von Strömen zu verhindern, die in diesem Fall von den Längsspannungen ausgelöst würden. Hier werden vorzugsweise träge Sicherungen für möglichst kleine Abschaltströme eingesetzt, die jedoch auf die sehr kurzzeitigen kapazitiven Ableitströme nicht ansprechen. Für die Auslegung der Kapazität 9 gelten folgende Kriterien:

Einerseits soll der kapazitive Pfad eine möglichst niedrige Impedanz zur Ableitung der steilen Spannungsspitzen haben, andererseits soll der durch niederfrequente Wellenspannungskomponenten (Drehfrequenz und Oberwellen) verursachte Strom klein sein.

Für den Gleitkontakt im kapazitiven Ableitkreis müssen folgende Bedingungen gewährleistet sein:

- eine kleine Gleitgeschwindigkeit,
- eine für die Ableitung kurzer Stromimpulse günstig strukturierte Oberfläche des rotierenden Kontaktteiles,
- 5 - eine Kombination günstiger Kontaktwerkstoffe für den rotierenden und feststehenden Kontaktteil.

Prinzipiell eignen sich Bürsten mit metallisierten Carbonfibern, die auf einem Wellenzapfen, dessen Durchmesser kleiner ist als der der Welle, am NS-Wellenende  
10 leiten (vgl. Fig. 6).

In den Fig. 4 und 5 sind zwei bevorzugte Ausführungsformen von Kontaktanordnungen veranschaulicht. Das nichtantriebsseitige Wellenende 11 weist eine zentrale axiale Gewindebohrung 11a auf, in welche ein (mitrotierender) Kontaktteil 22 mit balliger Stirnfläche eingeschraubt ist.  
15 Er besteht z.B. aus einer Silber/Kupferlegierung, wie sie auch für Kommutatoren verwendet wird aus Monel, Hartsilber oder aus einem Metall, das mit einem Edelmetall, z.B. Gold, Hartgold, Rhodium, platiert ist.  
20 Als Gegenkontakt dient ein topfförmiger Kontaktkörper 23 aus Bürstenmaterial (Bürstenkohle), der in einem Bürstenhalter 24 befestigt ist. Das dem Kontaktkörper 23 abgewandte Ende des Bürstenhalters ist als axiale Gleitführung ausgebildet, welche in einem am Maschinengehäuse  
25 oder Fundament befestigten Halteorgan 25 gegen die Kraft einer Feder 26 axial verschieblich angeordnet ist. Am Bürstenhalter 24 ist ein flexibles Kabel 27 angeschlossen, welches an den einen Anschluss des Kondensators 9 (Fig. 3) führt.

30 Die gesamte Kontaktvorrichtung erfüllt alle vorstehend genannten Anforderungen und lässt sich bei Verschleiss



von Kontaktteil 22 und/oder Gegenkontakt 23 leicht aus-  
wechseln. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit,  
die Kontaktvorrichtung gegenüber Umwelteinflüssen wie  
Oeldampfen oder Staub durch ein Gehäuse 28 (in Fig. 4  
5 lediglich durch strichlierte Linien angedeutet) abzukap-  
seln und das Gehäuseinnere durch Zufuhr gefilterter  
Pressluft unter Ueberdruck zu versetzen.

Eine weitere Ausbildung einer Kontakthanordnung zeigt  
Fig. 5. Das NS-Wellenende 11 weist einen zylindrischen  
10 Zapfen 29 kleineren Durchmessers auf, der entweder ein-  
stückig mit diesem verbunden oder in eine entsprechende  
Axialbohrung im Wellenende eingesetzt ist. In die Mantel-  
fläche des Zapfens ist entweder ein ein- oder mehrgängi-  
ges Flächengewinde eingeschnitten (nicht dargestellt)  
15 oder es sind zwei gegenläufige, sich gegenseitig durch-  
dringende Gewindegänge eingebracht (Kreuzrandrierung),  
wobei die Spitzen 30 leicht überschliffen sind (Fig. 5a),  
so dass sich als eigentliche Kontaktfläche eine Vielzahl  
voneinander beabstandeter Rauten 31 ergeben. Als fest-  
20 stehender Gegenkontakt ist eine konventionelle Bürste 8  
vorgesehen, die in einem Bürstenhalter 33 geführt ist,  
welcher seinerseits am Maschinengehäuse oder Fundament  
befestigt ist. Auch diese Kontakthanordnung erfüllt die  
oben aufgeführten Anforderungen hinsichtlich kleiner  
25 Gleitgeschwindigkeit, günstig strukturierter Oberfläche  
und Materialpaarung von rotierendem und feststehendem  
Kontaktteil und Auswechselbarkeit der Verschleissteile.  
Auch hier lässt sich die gesamte Kontakteinrichtung  
ohne grossen Aufwand gegen Umwelteinflüsse abkapseln.  
30 Auch lassen sich bei dieser Ausführungsform im Bedarfs-  
fall mehrere Bürsten parallelschalten.

Die an einer gegebenen Maschine auftretenden Spannungs-  
impulse weisen eine eindeutig definierte Frequenz auf.  
In der Regel ist jeder Impuls ein gedämpfter Ausschwing-

vorgang. Für eine effiziente Ableitung kann anstelle der reinen Kapazität ein auf diese Frequenz abgestimmter Saugkreis bestehend aus dem Kondensator 9 und einer Drossel 32 ausgeführt werden (Fig. 6).

- 5 Die ohmsche Erdung 7 auf AS stellt einen, wenn auch für kurze Stromimpulse wesentlich hochohmigeren Parallelpfad zur kapazitiven Erdung auf NS dar. Um die Spannungsimpulse kanalisiert über die kapazitive Erdung zu führen, kann in den ohmschen Erdfad zwischen Erdungs-  
10 bürste 7 und Masse 5 eine kleine Induktivität 21 eingefügt werden, was in Fig. 3 beispielsweise verdeutlicht ist.

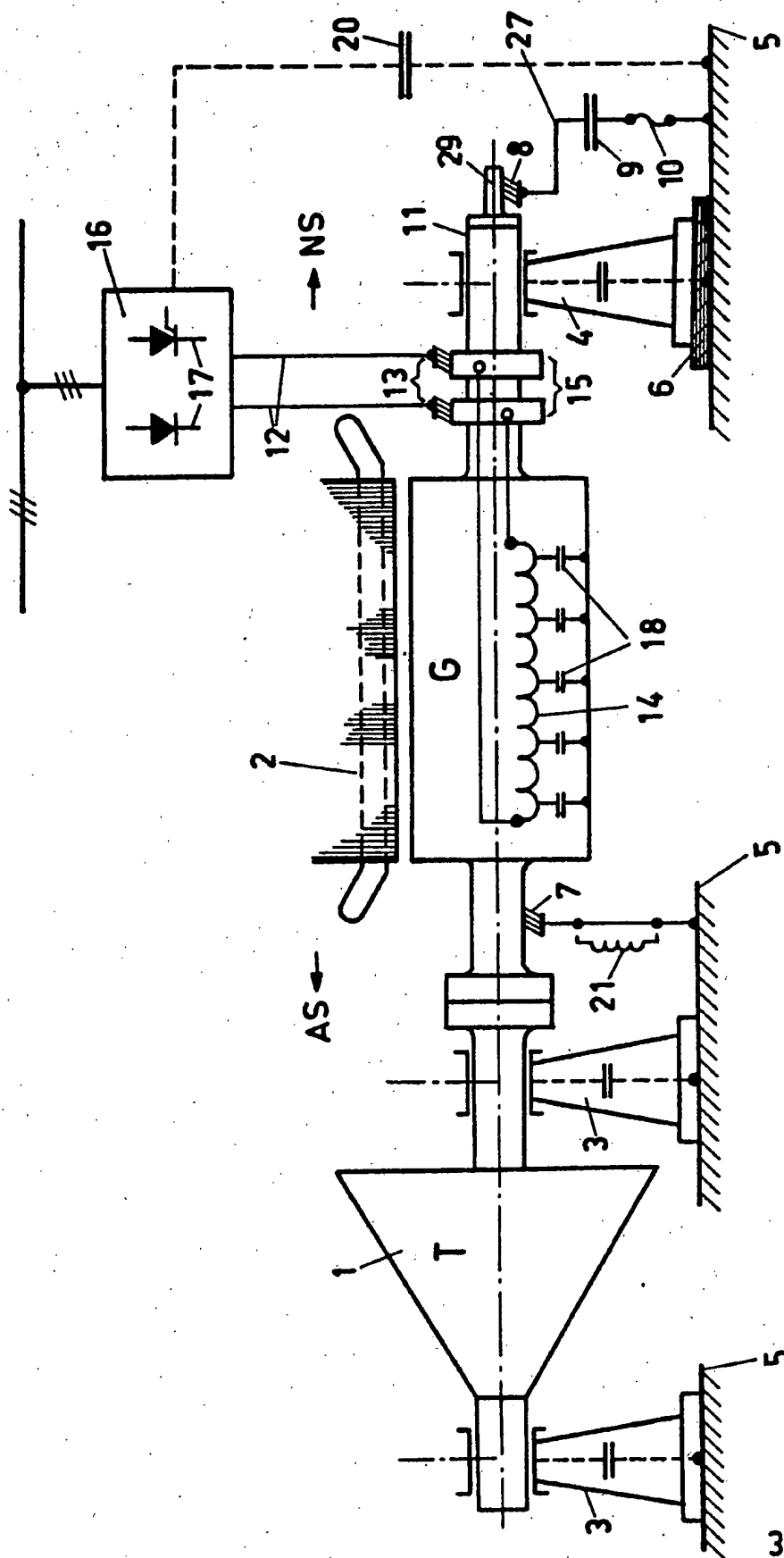
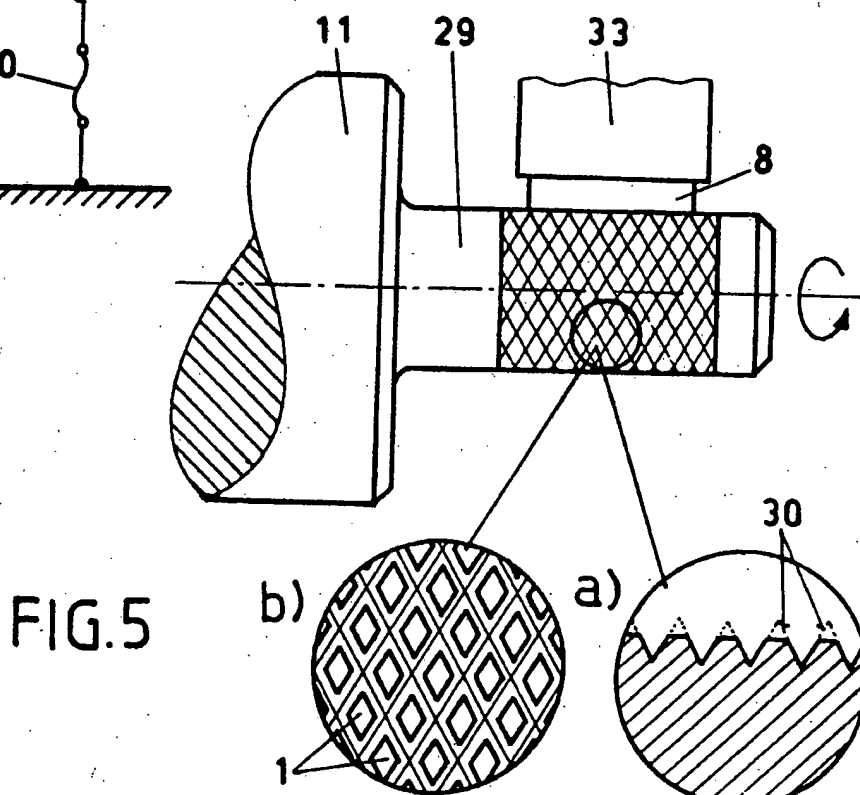
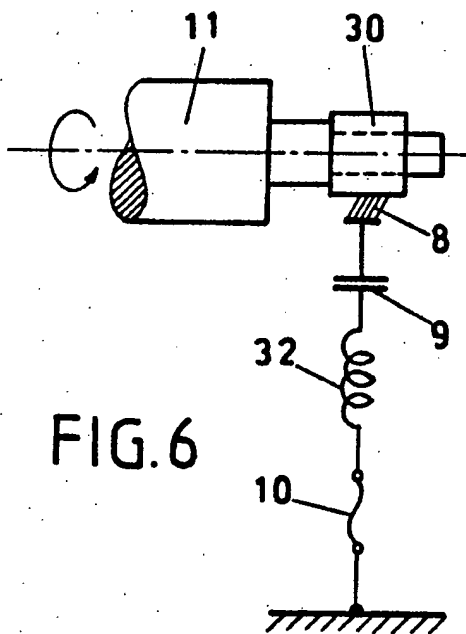
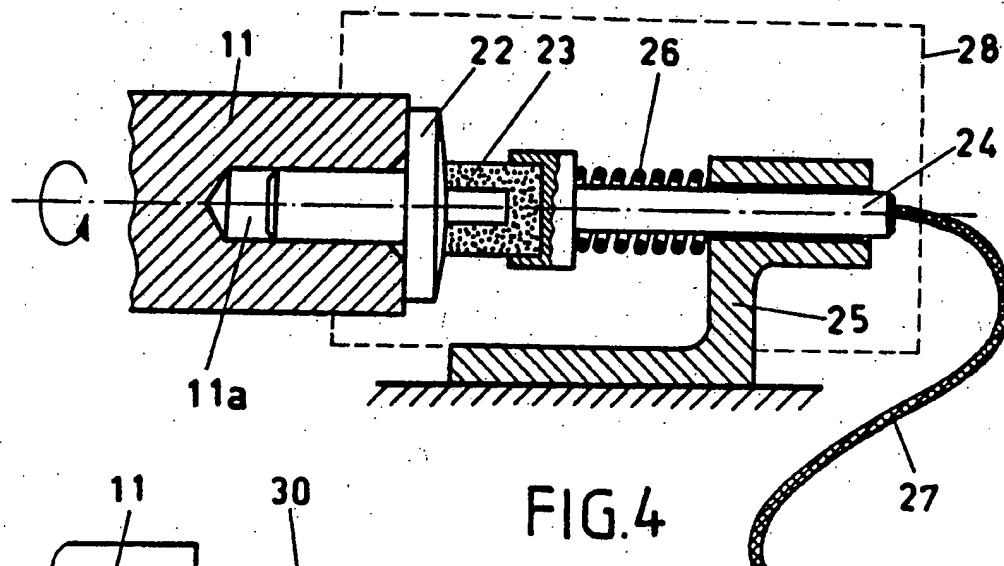


FIG. 3



Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

35 11 755  
H 02 K 5/16  
30. März 1985  
24. Oktober 1985

-19-

3511755  
FIG.1

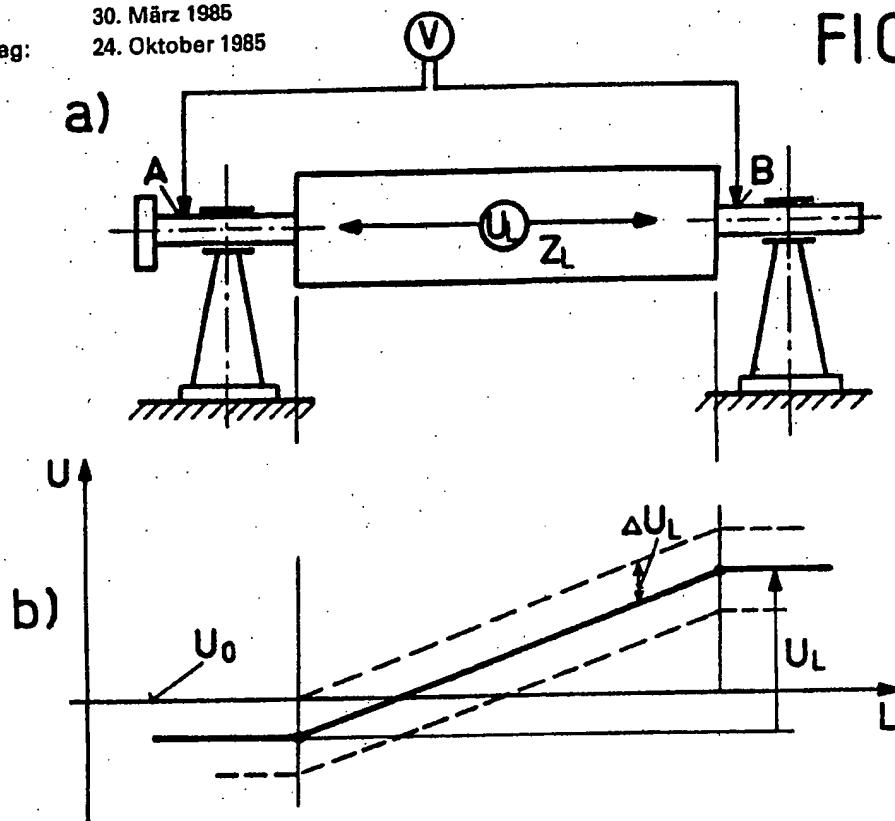


FIG.2

